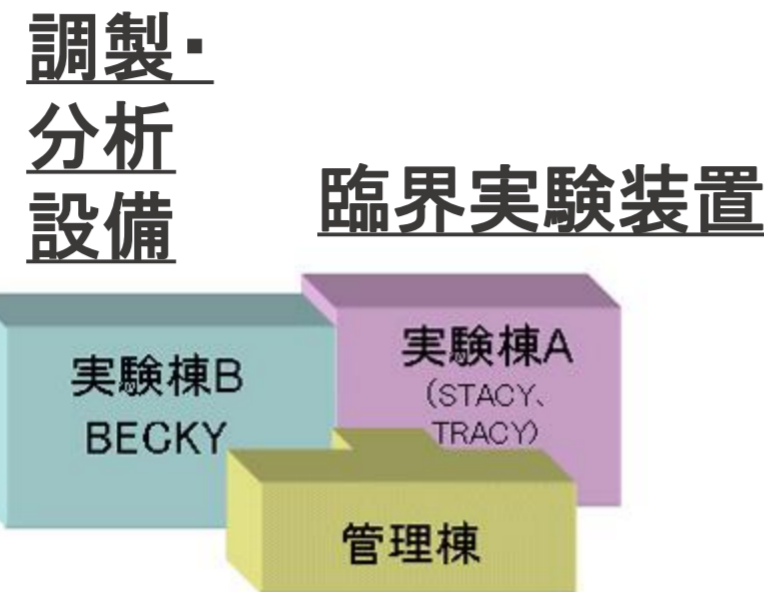


背景

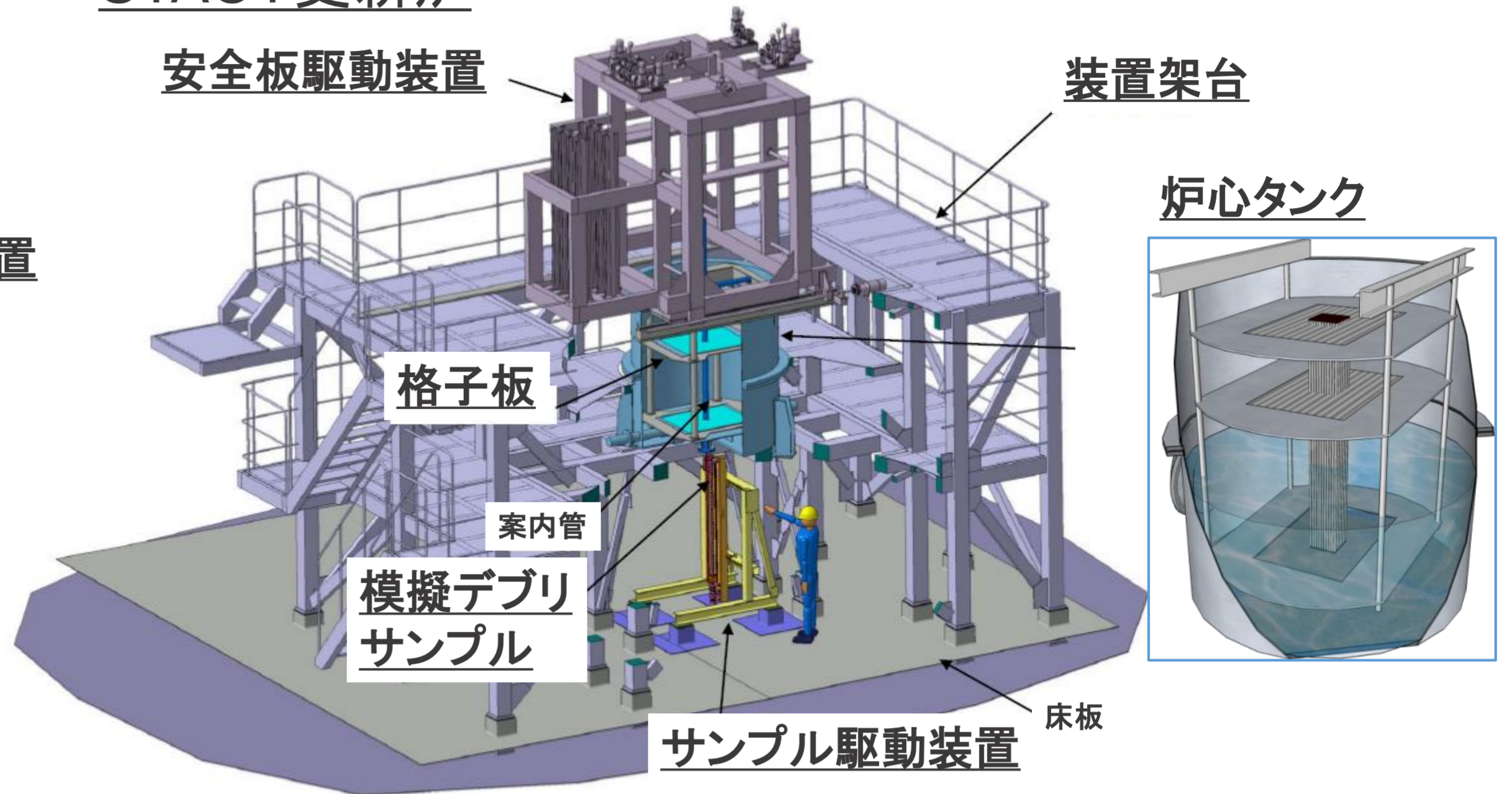
- 燃料デブリは性状が不確かで、その臨界特性を幅広くコンピュータを用いた解析で評価しなければならない。
- この解析手法の持つ不確かさも確認する必要がある。
- 模擬燃料デブリを調製し臨界試験を実施することで、燃料デブリの特性を知り、解析手法の精度を検証する。

実験施設

- NUCEF (原子力科学研究所)
- STACY更新炉



- 燃料サイクル安全工学研究施設 (NUCEF) の定常臨界実験装置 (STACY) を軽水減速炉心へ改造中
- 模擬燃料デブリの調製と分析ができる化学設備を併設
- 臨界特性解析手法の検証を通じて、燃料デブリ臨界特性データベース (整備中) の精度を確認する。



- ◆ 実験中に模擬燃料デブリサンプルを出入れする駆動機構を設置予定

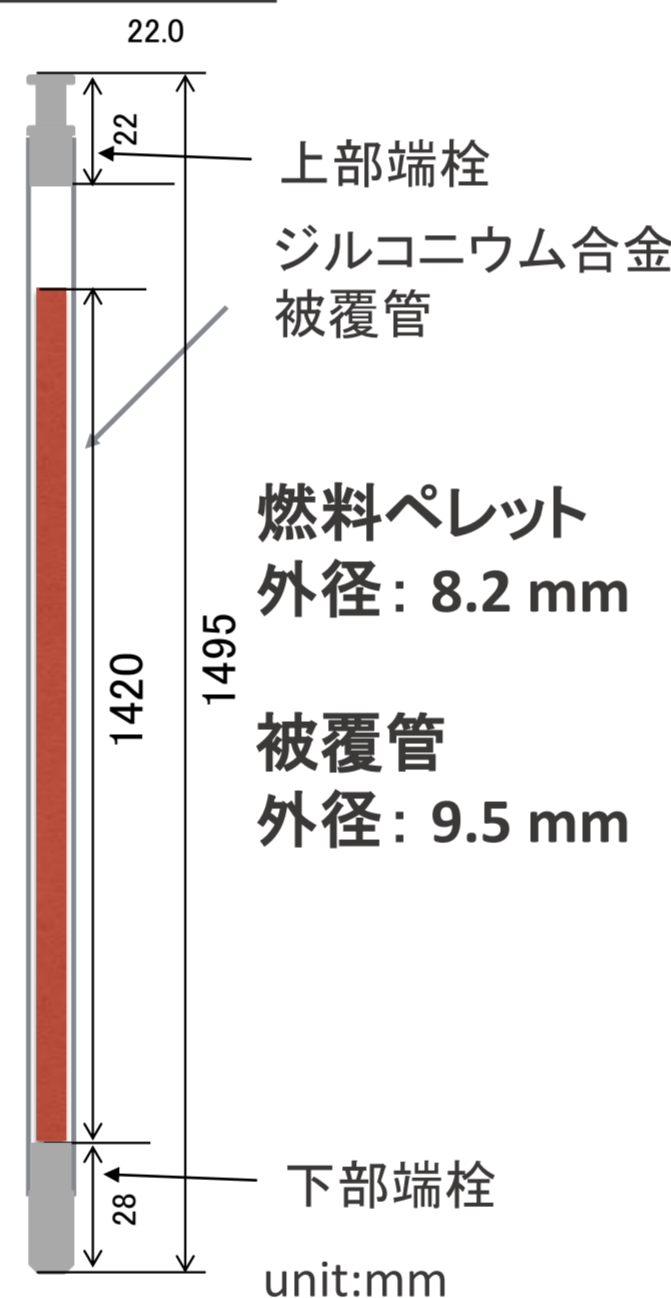
基本設計

● 諸元

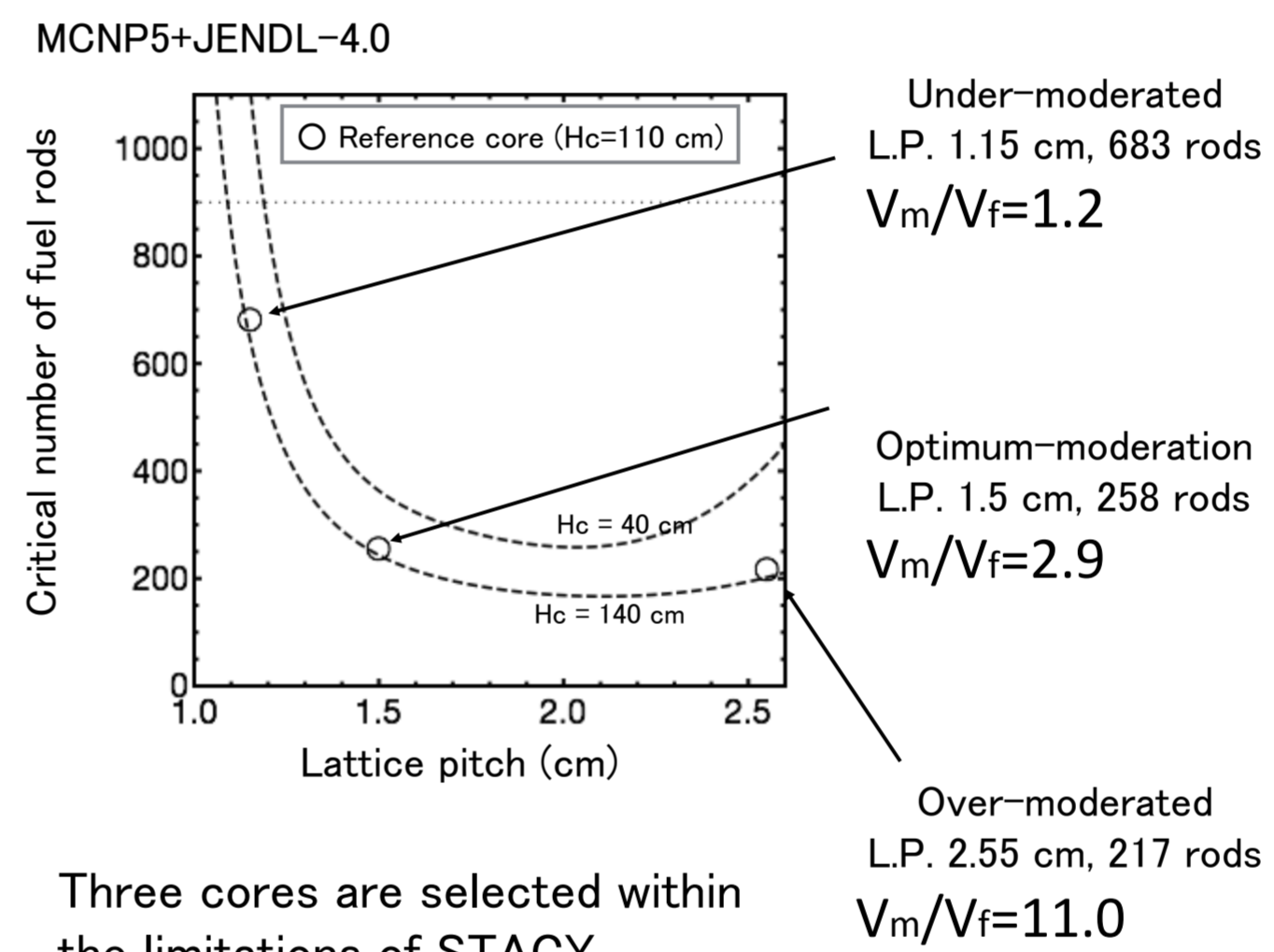
項目	許可範囲
格子板ピッチ (減速材燃料体積比: V_m/V_f)	1.09 ~ 2.55 cm ($V_m/V_f=0.9 \sim 11$)
臨界時実効水位	40 ~ 140 cm
^{235}U 濃縮度	< 10 wt%
装荷燃料棒本数	50 ~ 900
減速材温度	$\leq 70^\circ\text{C}$
熱出力	$\leq 200\text{ W}$

- ◆ 格子板と燃料棒本数を変えることで様々な炉心が構成可能
- ◆ 当面の燃料棒は ^{235}U 濃縮度約5wt%を計画

● 燃料棒

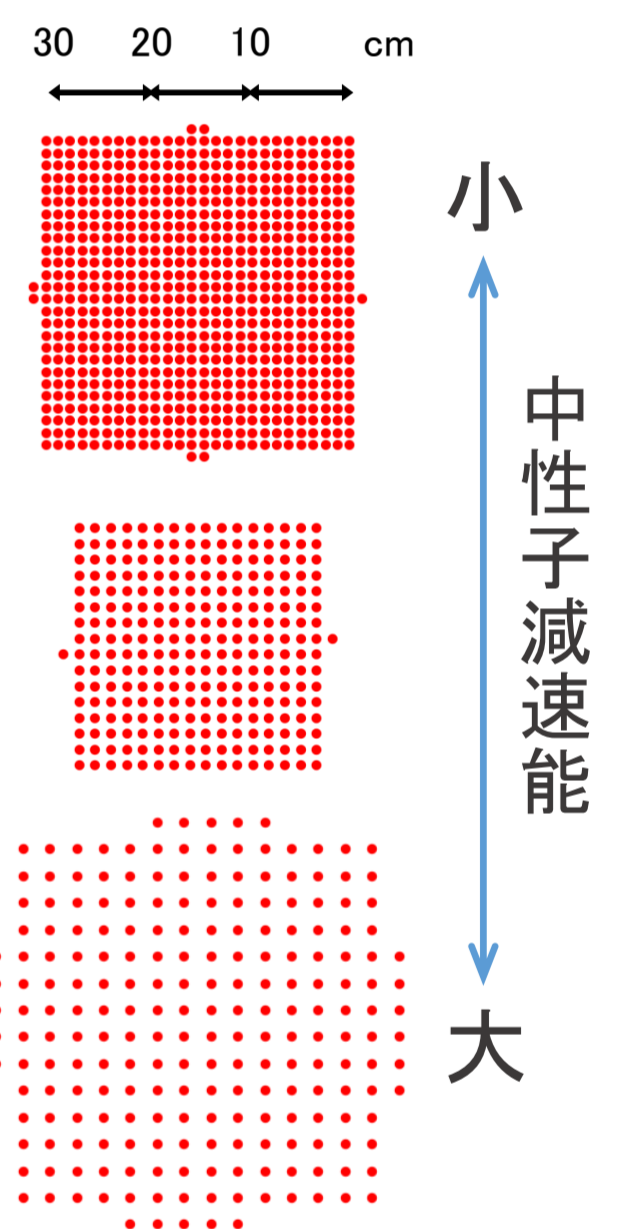


● 格子板と必要燃料本数



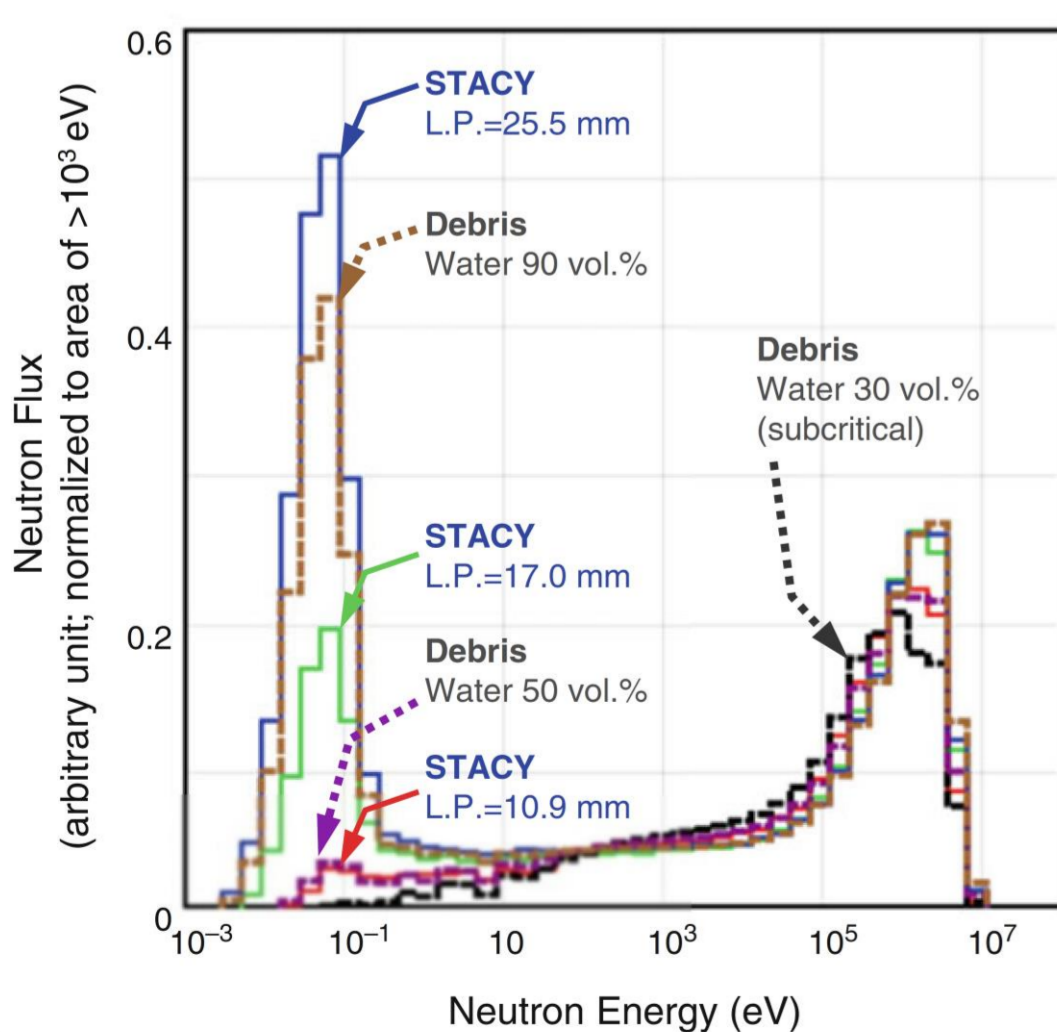
Three cores are selected within the limitations of STACY

格子板ピッチと臨界に必要な燃料棒の関係

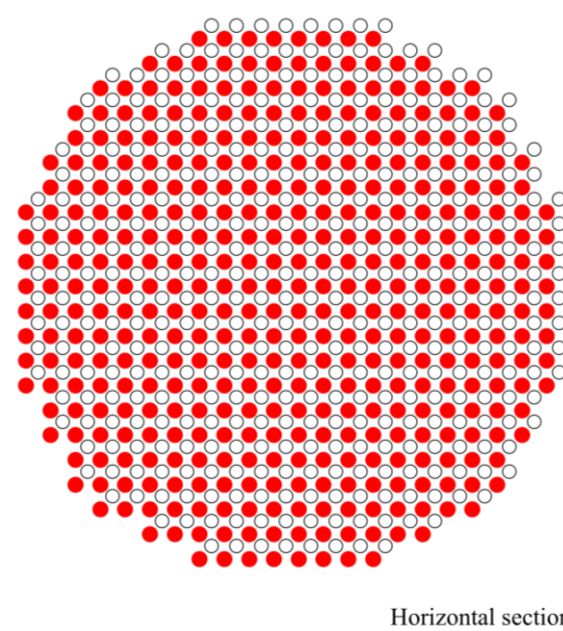


炉心構成の検討

● 炉心特性

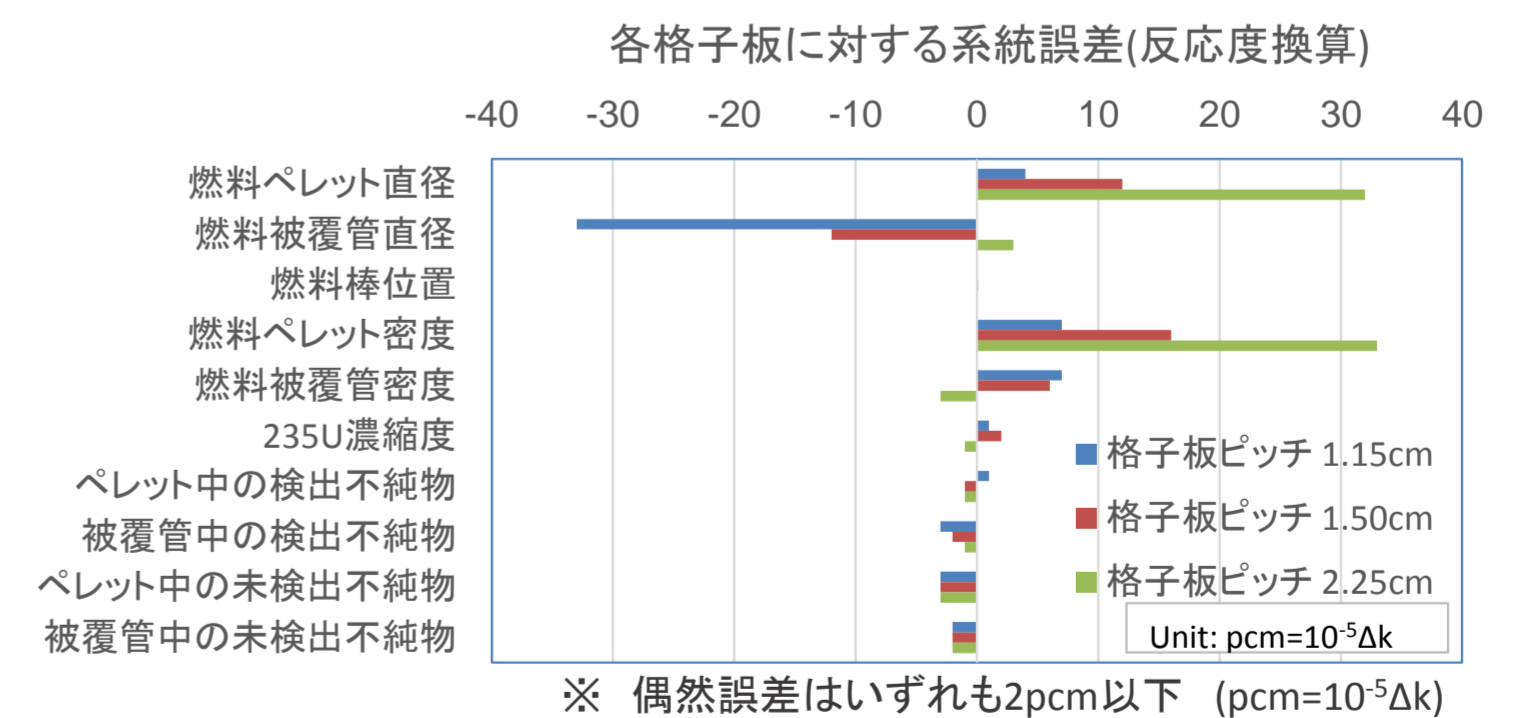


- ◆ 燃料デブリの臨界性は含まれる水分割合と関係する
- ◆ 燃料デブリで想定される減速材割合を再現可能
- ◆ さらに、燃料棒間にコンクリートや鉄などの構造材模擬材を装荷することも可能



● 不確かさの低減

- ◆ 解析手法は日進月歩で高精度化しているが、臨界に近い燃料デブリが見いだされた場合、一層高精度な解析が必要
- ◆ 解析手法を検証する実験も高精度化が必要



- ◆ 系統精度は40pcm以下で十分な精度を確認 (燃料デブリの臨界性解析誤差に対して十分に小さい)

結論

- 模擬燃料デブリを調製し、STACY更新炉を用いて、その臨界特性を測定する臨界実験を計画中
- 原子炉施設 (臨界実験装置) と核燃料使用施設 (調製・分析設備) を併設できるNUCEFを活用
- 燃料デブリの臨界特性を実験的に把握するため、十分に広い範囲の水分・減速材割合を再現予定
- 高精度な解析手法の検証に足る精度を有する実験装置を設計

参考:

- K. Tonoike, et al., "Major Safety and Operational Concerns for Fuel Debris Criticality Control," proc. of GLOBAL 2013, Salt Lake City, USA, (2013).
- H. Sono, et al., "Modification of the STACY Critical Facility for Experimental Study on Fuel Debris Criticality Control," Nuclear Back-end and Transmutation Technology for Water Disposal, Chap.22, Springer, (2015).
- K. Izawa, et al., "Design of Water-Moderated Heterogeneous Cores in New STACY Facility through JAEA.IRSN Collaboration," proc. of ICNC2015, Charlotte, USA, (2015).

1. 背景

福島第一原子力発電所事故で 1～3 号機内に生じた燃料デブリはその性状が不確かである。取出し等の工程における燃料デブリの臨界安全管理及びこれに対する安全規制に資するため、燃料デブリの臨界特性をコンピュータ解析で評価する必要がある、解析結果をまとめたデータベースを整備しつつある（平成 26 年度既報）。一方で、コンピュータ解析の持つ不確かさも、臨界試験により確認する必要である。ここでは、臨界実験装置を用いた模擬燃料デブリの臨界試験の準備状況を述べる。

2. 実験施設

臨界試験には燃料サイクル安全工学研究施設 NUCEF（原子力科学研究所）に設置されている定常臨界実験装置 STACY を用いる。このため、硝酸ウラニル水溶液体系から軽水減速・燃料棒体系へ炉心構造を更新する。また、NUCEF にはグローブボックス等を備えたバックエンド研究施設 BECKY もあり、模擬燃料デブリの調製と分析を行う。更新した STACY の炉心は、減速材・反射体である軽水が満たされる上部開放型の円筒炉心タンクの中に、交換可能な格子板、燃料棒等で構成される。さらに、模擬燃料デブリの試料を封入したカプセルを炉心内に運転中に挿入する装置を備える。

3. 基本設計

更新した STACY では、格子板の交換により燃料棒の配列間隔を変更できるほか、減速材である水の昇温等も可能であり、燃料デブリが置かれる様々な中性子減速条件を模擬することができる。装荷する燃料棒は全長約 1.5m であり、当面 ^{235}U 濃縮度約 5wt.% の二酸化ウランのものを用いる。

試験条件等に応じて必要な本数の燃料棒を装荷し炉心タンクに底部から給水していくと、冠水した実効的な炉心が大きくなっていき、ある水位で臨界となる。この臨界水位も、燃料棒の間隔、水の温度、その他装荷物の有無等の条件、さらに燃料棒本数に応じて変化する。事前検討によると、燃料棒間隔が 1.5cm 程度のとき、最適な中性子減速条件であり、無限増倍率が最大となる。必要燃料棒本数が最小となる点は炉心の大きさの影響を受けるためやや減速過剰側にシフトし、燃料棒間隔 2.0cm 程度で最小となる。なお、装荷できる燃料棒本数は最大で 900 本である。

4. 炉心構成の検討

炉心特性として、中性子スペクトルの解析値を示す。燃料デブリの臨界特性は、含まれる水分量に大きく依存することが知られている。減速不足の体系では水分が多いほど中性子減速能力が大きくなり、核分裂に寄与する熱中性子の中性子束が大きくなる。本スペクトル図は、燃料デブリが体積割合で 30、50、90% の水分を含んだ状態の中性子スペクトルを、更新した STACY では格子板を変えることで再現できることを示している。また、燃料棒間の減速材中にコンクリートやステンレス等の構造材模擬材を装荷し、それらが燃料デブリの臨界特性に与える影響を調べる試験も可能である。

燃料デブリの臨界特性については高精度のコンピュータ解析が求められており、その解析手法を検証する試験もまた従来よりも高精度化が必要である。このため、試験に伴う不確かさの要因として格子板や燃料棒の寸法等を抽出し、その影響を偶然成分と系統成分に分けて評価した。適切な公差設定や製造時品質管理を行えば、影響はいずれも小さくでき、解析手法検証に十分な試験精度が得られる。

5. 結論

コンピュータ解析による燃料デブリの臨界特性データベースの整備に加えて、STACY を用いた臨界試験を行うことによりその妥当性を評価する。更新した STACY は平成 30 年度に初臨界となる予定である。この更新と臨界試験の準備は原子力規制庁からの受託事業として実施されている。

初臨界後当面、模擬燃料デブリ臨界試験に供されるが、軽水炉の炉物理試験や、原子力人材育成としての炉物理・臨界安全の実地研修にも用いることができる。